

Ludwik PIEŃKOWSKI¹

Realia energetyki jądrowej w Polsce

Reaktory dużej mocy

Jedynie Rosja i Chiny odnoszą dziś sukcesy, budując nowe, wielkoskalowe, lekkowodne reaktory energetyczne. Ich programy oparte są na dużym rynku nabywców sięgającym kilkudziesięciu gigawatów, ale w niniejszej publikacji oferty z tych krajów nie będą przedmiotem analizy. Natomiast kilkadziesiąt lat temu rynki o dużej głębokości były otwarte dla energetyki jądrowej w krajach z naszego obszaru gospodarczego takich jak: USA, Francja, Japonia, czy Kanada. Niedawne próby w USA i we Francji realizacji małych programów w oparciu o duże reaktory poniosły porażki biznesowe. Najdotkliwszą było porzucenie w USA budowy dwóch reaktorów AP1000 w elektrowni V.C. Summer (Nukegate scandal). Analizując przyczyny porażek, widać, że dla małych programów z dużymi reaktorami trudno zbudować optymalny system finansowania i łańcuch dostaw. Dlatego też Francja kiedyś odniosła sukces, budując czterdzieści reaktorów dużej mocy w piętnaście lat, a obecnie ponosi biznesową porażkę budując przez kilkanaście lat dwa reaktory EPR, jeden u siebie i drugi w Finlandii.

AP1000, EPR, APR1400 – reaktory dużej mocy

Program budowy w Polsce sześciu reaktorów takich jak AP1000, EPR, APR1400 jest programem małym, a zatem jeśli nie będzie on częścią większego programu, to będzie narażony na duże ryzyko porażki. Jak dotąd najsilniejszą umowę Polska zawarła ze Stanami Zjednoczonymi (Umowa... 2021), co stawia reaktor AP1000 w wyróżnionej pozycji w stosunku do reaktorów EPR i APR1400. Umowę zawarto zaraz po tym gdy w USA ogłoszono strategiczny plan wzmocnienia przemysłu jądrowego mającego istotne znaczenie dla bezpieczeństwa kraju. Postawiono sobie za cel odzyskanie rynków energetyki jądrowej, na których dominują

¹ Wydział Energetyki i Paliw, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie; e-mail: pienkows@agh.edu.pl.

Rosja i Chiny, ale bez budowania nowych elektrowni jądrowych takich jak AP1000 w USA (Strategy... 2020). Administracja prezydenta Donalda Trumpa z całych sił dążyła do zawarcia kontraktów zagranicznych na budowę ponad dwudziestu reaktorów AP1000, ale żadnego kontraktu nie zawarto. W lutym 2019 roku spodziewano się podpisania umowy na budowę sześciu reaktorów AP1000 w Indiach, co jednak nie nastąpiło. Prywatna amerykańska firma IP3 (IP3) przy bardzo silnym, ale i mało transparentnym wsparciu administracji prezydenta Donalda Trumpa dążyła do sprzedaży nawet kilkunastu reaktorów AP1000 w Arabii Saudyjskiej. Działania te zablokował Kongres, który w tej transakcji widział zagrożenie bezpieczeństwa USA (New... 2019). W 2020 roku doszło do zawarcia wstępnej umowy z Polską. Obecnie za prezydentury Joe Bidena amerykańska strategia w energetyce jądrowej nie uległa istotnej zmianie, ale wydaje się, że jest rozważana możliwość budowy w USA nowych elektrowni jądrowych z wykorzystaniem mniejszych reaktorów i bankowalnych programów (DOE... 2021). Nastąpiło też znaczne ożywienie wokół budowy demonstracyjnego reaktora Natrium, który jest reaktorem prędkim chłodzonym sodem. Projekt ten wspierają miliarderzy Bill Gates i Warren Buffett, firma General Electric Hitachi (GEH), administracja federalna USA i władze stanu Wyoming (TerraPower 2021). Co ważne, tworzone są wizje kolejnych inwestycji, tak aby stan Wyoming po zamknięciu elektrowni węglowych pozostał dużym producentem energii elektrycznej. Na energetykę, w tym jądrową, duży wpływ ma nie tylko troska o klimat, ale również proces wychodzenia z kryzysu COVID-19 poprzez uruchamiania programów inwestycyjnych wielkiej wartości we wszystkich krajach, w tym w USA. Tym niemniej administracja prezydenta Joe Bidena kontynuuje starania o pozyskanie zagranicznych kontraktów na budowę reaktorów AP1000, o czym świadczy niedawne wstępne porozumienie z Ukrainą o budowie czterech reaktorów AP1000 (Wetinghouse... 2021).

Zarówno francuski EPR, jak i Koreański APR1400 przewijają się incydentalnie w dyskusjach o polskiej energetyce jądrowej, ale od co najmniej roku nic istotnego na tym polu nie zostało odnotowane. Padły jedynie zapowiedzi złożenia ofert oraz odbyły się spotkania o dużym wymiarze politycznym, ale wiążących umów nie zawarto.

NuScale – najbardziej zaawansowany lekkowodny SMR (Small Modular Reactor)

Od niemal dekady spore nadzieje wiązane są z modularnymi reaktorami lekkowodnymi małej mocy ze względu na bankowalność procesu ich budowy, który ma modularną strukturę. Modularne bloki energetyczne o elastycznym zakresie mocy sięgającej jednego gigawata lub więcej z jednej strony mogą zastępować dzisiejsze wielkoskalowe elektrownie, a z drugiej dają możliwość wykorzystania do zasilania przemysłu energochłonnego.

W euroatlantyckiej przestrzeni gospodarczej najbardziej zaawansowany jest projekt firmy NuScale Power (NuScale Power 1). Jako jedyny posiada on licencję amerykańskiego regulatora NRC, wydaną w sierpniu 2020 roku. Operator energetyczny UAMPS zrzeszający kilkadziesiąt wspólnot mieszkańców ma zbudować pierwszy blok w Idaho o mocy 462 MW składający się z sześciu modułów (UAMPS). Na jego budowę przyznane jest wsparcie federalne w wysokości niemal 1,4 miliarda dolarów. Program ten ma już zbudowane zręby

łańcucha dostaw kluczowych układów, w tym ciężkich elementów takich jak zbiorniki reaktorów. W 2021 roku zgromadzono też około 200 mln dolarów od prywatnych firm (NuScale Power 2). Decyzja o rozpoczęciu budowy w Idaho jest już niemal przesądzona, a formalne jej uruchomienie spodziewane jest za dwa lata (15th Edition... 2021). We wrześniu 2021 r. polski koncern miedziowy, KGHM, zawarł wstępne porozumienie z NuScale w celu zbadania możliwości uruchomienia w Polsce pierwszej modularnej elektrowni jeszcze w tej dekadzie (NuScale Power 3). Miesiąc później rumuński operator energetyczny Nuclearelectrica zawarł umowę z NuScale, której celem jest budowa modularnej elektrowni i jej uruchomienie już w 2028 roku (NuScale Power 4). Nadal jednak niewiadome jest, jak przyjmą te zapowiedzi globalne rynki, inwestorzy z najmocniejszych gospodarek. Należy jednak podkreślić, że NuScale jest reaktorem ciśnieniowym, lekkowodnym i dlatego ryzyka technologiczne, inżynierskie oraz w obszarze bezpieczeństwa jądrowego są niewielkie. Największą niewiadomą jest koszt inwestycji i koszt generowanej energii elektrycznej. Jeśli inwestor (UAMPS) i oferent (NuScale Power) zgodnie z planem uruchomią pierwszy modularny blok energetyczny składający się z sześciu modułów o łącznej mocy 462 MW w 2030 roku oraz dotrzymają obietnicy, że koszt energii elektrycznej (LCOE) będzie poniżej 60 dolarów za megawatogodzinę, to zapewne reaktory NuScale znajdą licznych nabywców. Wydaje się, że już najbliższe lata pokażą potencjał (lub jego brak) reaktora NuScale na zbudowanie dużego portfela zamówień. Oprócz wymienionych umów z Polską i Rumunią NuScale Power podpisał umowy wstępne z operatorami energetycznymi w takich krajach jak: Kanada, Jordania, Czechy, Bułgaria i Ukraina.

BWRX-300 – drugi obecny w Polsce projekt lekkowodnego SMR-a

Inne projekty lekkowodnych SMR-ów są znacznie mniej zaawansowane niż NuScale, ale przy odpowiednio dużym finansowaniu mogą w kilka lat nadrobić zaległości. W szczególności wiadomo, że licencja którą otrzymał NuScale wymaga kilku lat intensywnej współpracy z doświadczonym regulatorem i wydatkowania około pół miliarda dolarów. Na razie żaden inny oferent lekkowodnych SMR-ów nie rozpoczął w USA procesu licencjonowania, a licencja u renomowanego regulatora takiego jak amerykański NRC daje niemal pewność uzyskania licencji od innych krajowych regulatorów. Projekt BWRX-300 jest jednym z najbardziej zaawansowanych, ale podobnie jak kilka innych jest na etapie prac przedlicencyjnych i GEH poszukuje środków potrzebnych na sfinansowanie prac licencyjnych (BWRX-300). W tej sytuacji można jedynie kreślić mgliste wizje gdzie i kiedy zostanie zbudowany pierwszy reaktor, ale niedawna decyzja kanadyjskiego operatora Ontario Power Generation o wyborze BWRX-300 (GE Hitachi... 2021) pokazuje, że projekt ten może wkrótce nabrać znacznej dynamiki. Należy podkreślić, że dwóch silnych, prywatnych inwestorów w Polsce od ponad dwóch lat deklaruje zainteresowanie tym projektem. W grudniu 2021 r. został on mocno wsparty przez firmę ORLEN, co zaowocowało utworzeniem dedykowanej spółki celowej (Orlen 2021).

UK-SMR – lekkowodny reaktor brytyjski

UK-SMR (UK) to projekt lekkowodnego reaktora SMR o mocy 470 MW firmy Rolls-Royce, który jest postrzegany jako brytyjski, narodowy projekt. Jest on na podobnym stopniu zaawansowaniu co reaktor BWRX-300, ale niedawno uzyskał znaczne wsparcie rządu (Rolls-Royce... 2021), które uruchomiło finansowanie w wysokości przekraczającej czterysta milionów funtów, co umożliwiło podjęcie bardzo intensywnych działań. Firma Rolls-Royce planuje budowę w Wielkiej Brytanii szesnastu reaktorów w kilkanaście lat.

NUWARD – lekkowodny reaktor francuski

NUWARD to francuski, narodowy projekt lekkowodnego reaktora SMR o mocy pomiędzy 300 i 400 MW, którego wstępne dane po raz pierwszy zostały pokazane w 2019 roku (CEA... 2019). Niedawno ogłoszony francuski duży program inwestycyjny wskazał, że NUWARD to kluczowy projekt dla Francji i dlatego na jego realizację w najbliższych latach przewiduje się miliard euro (Presentation... 2021). Ogłoszenie tak dużego finansowania całkowicie zmieniło status projektu NUWARD, który z dnia na dzień stał się projektem niemal równorzędnym z takimi projektami jak UK-SMR, BWRX-300 i NuScale.

Inne niż lekkowodne reaktory małej mocy

Ze względu na słabe zaawansowanie projekty reaktorów w technologiach innych niż lekkowodne, w tym wspomniany projekt Natrium, nie powinny leżeć w obszarze inwestycyjnego zainteresowania operatorów energetycznych i przemysłu energochłonnego w Polsce.

Podsumowanie

Z perspektywy programu wdrożenia w Polsce energetyki jądrowej z największą uwagą należy obserwować procesy zachodzące wokół projektów reaktorów wielkoskalowych: AP1000, EPR, APR1400 oraz lekkowodnych SMRów: NuScale, BWRX-300, UK-SMR oraz NUWARD.

Literatura

- BWRX-300 – Strona internetowa reaktora BWRX-300 firmy GEH: [Online] <https://nuclear.gepower.com/build-a-plant/products/nuclear-power-plants-overview/bwrx-300> [Dostęp: 18.12.2021].
- CEA... 2019 – CEA, EDF, Naval Group and TechnicAtome unveil NUWARD: jointly developed Small Modular Reactor (SMR) project, 17 September 2019 [Online] <https://www.cea.fr/english/Pages/News/Nuward-SMR-CEA.aspx> [Dostęp: 18.12.2021].
- DOE... 2021 – DOE building a bridge to bankability for nuclear, 10 September 2021 [Online] <https://world-nuclear-news.org/Articles/DOE-building-a-bridge-to-bankability-of-nuclear> [Dostęp: 18.12.2021].

- GE Hitachi ... 2021 – GE Hitachi Nuclear Energy Selected by Ontario Power Generation as Technology Partner for Darlington New Nuclear Project, December 02, 2021 [Online] <https://www.ge.com/news/press-releases/ge-hitachi-nuclear-energy-selected-by-ontario-power-generation-as-technology-partner> [Dostęp: 18.12.2021].
- IP3 – IP3 The mission of IP3 is to be the lead U.S. integrator for the development and operations of peaceful and secure nuclear power in the global marketplace [Online] <http://ip3international.com/about/> [Dostęp: 18.12.2021].
- New... 2019 – New Documents Show Corporate and Foreign Interests Seek to Influence U.S. Nuclear Policy, Jul 29, 2019 [Online] <https://oversight.house.gov/news/press-releases/new-documents-show-corporate-and-foreign-interests-seek-to-influence-us-nuclear> [Dostęp: 18.12.2021].
- Nukegate scandal. [Online] https://en.wikipedia.org/wiki/Nukegate_scandal [Dostęp: 18.12.2021].
- NuScale Power 1 – NuScale Power [Online] <https://www.nuscalepower.com/> [Dostęp: 18.12.2021].
- NuScale Power 2 – NuScale Power Secures Nearly \$200 Million in Strategic Investments, 08/03/2021 [Online] <https://newsroom.nuscalepower.com/press-releases/news-details/2021/NuScale-Power-Secures-Nearly-200-Million-in-Strategic-Investments/default.aspx> [Dostęp: 18.12.2021].
- NuScale Power 3 – NuScale Power Signs Memorandum of Understanding with KGHM and PBE to Explore SMR Deployment in Poland [Online] <https://www.businesswire.com/news/home/20210923005575/en/NuScale-Power-Signs-Memorandum-of-Understanding-with-KGHM-and-PBE-to-Explore-SMR-Deployment-in-Poland> [Dostęp: 18.12.2021].
- NuScale Power 4 – NuScale and Nuclearelectrica Team Up to Advance Clean Nuclear Technology in Romania [Online] <https://www.businesswire.com/news/home/20211102006199/en/NuScale-and-Nuclearelectrica-Team-Up-to-Advance-Clean-Nuclear-Technology-in-Romania> [Dostęp: 18.12.2021].
- ORLEN 2021 – ORLEN rozwija technologię małego atomu SMR, 07.12.2021 [Online] <https://www.orlen.pl/pl/o-firmie/media/komunikaty-prasowe/2021/orlen-rozwija-technologie-malego-atomu-SMR> [Dostęp: 18.12.2021].
- Pieńkowski, L. 2021. Realia i mity energetyki jądrowej. *ACADEMIA – magazyn PAN* 1(65). [Online] https://journals.pan.pl/Content/119708/79-83_Pienkowski_pol.pdf [Dostęp: 18.12.2021].
- Presentation... 2021 – Presentation of the “France 2030” plan, October 15, 2021 [Online] <https://www.businessfrance.fr/discover-france-news-presentation-of-the-france-2030-plan> France 2030: quel avenir industriel pour les SMR, ces “petits” réacteurs nucléaires vantés par Emmanuel Macron? 13/10/2021 [Online] https://www.francetvinfo.fr/economie/industrie/france-2030-quel-avenir-industriel-pour-les-smr-ces-petits-reacteurs-nucleaires-vantes-par-emmanuel-macron_4803423.html France to Build Small Nuclear Reactors by 2030 in Export Push, 12-OCT-2021 [Online] <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-10-12/france-to-build-small-nuclear-reactors-by-2030-in-export-push> France’s nuclear drive offers chance of redemption for EDF [Online] <https://www.ft.com/content/a1c95212-c122-4a29-8952-14a346381b91> [Dostęp: 18.12.2021].
- Rolls-Royce... 2021 – Rolls-Royce announces funding secured for Small Modular Reactors, 08 Nov 2021 [Online] <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2021/08-11-2021-rr-announces-funding-secured-for-small-modular-reactors.aspx> [Dostęp: 18.12.2021].
- Umowa... 2021 – Umowa między Rządem Rzeczypospolitej Polskiej a Rządem Stanów Zjednoczonych Ameryki w sprawie współpracy w celu rozwoju programu energetyki jądrowej wykorzystywanej do celów cywilnych oraz cywilnego przemysłu jądrowego w Rzeczypospolitej Polskiej. Monitor Polski, (Dz.U. z p) Warszawa. [Online] <https://traktaty.ms.gov.pl/> [Dostęp: 18.12.2021].
- Strategy... 2020 – Strategy to Restore American Nuclear Energy Leadership. [Online] <https://www.energy.gov/strategy-restore-american-nuclear-energy-leadership> Strategy ... 2020 [Dostęp: 18.12.2021]. Restoring America’s Competitive Nuclear Energy Advantage, April 22, 2020 [Online] <https://www.energy.gov/downloads/restoring-americas-competitive-nuclear-energy-advantage> [Dostęp: 18.12.2021]. Fragment: *U.S. Government will move into markets currently dominated by Russian and Chinese State Owned Enterprises and recover our position as the world leader in exporting best-in-class nuclear energy technology.*
- Terra Power 2021 – TerraPower selects Kemmerer, Wyoming as the preferred site for advanced reactor demonstration plant, November 16, 2021 [Online] <https://www.terrapower.com/natrium-demo-kemmerer-wyoming/> [Dostęp: 18.12.2021].
- UAMPS – UAMPS [Online] <https://www.uamps.com/> Carbon Free Power Project [Online] <https://www.uamps.com/Carbon-Free> [Dostęp: 18.12.2021].
- UK – UK small modular reactor: pioneering intelligent power [Online] <https://www.rolls-royce.com/innovation/small-modular-reactors.aspx#/> [Dostęp: 18.12.2021].
- Westinghouse... 2021 – Westinghouse signs initial contract for Ukrainian AP1000s, 22 November 2021 [Online] <https://world-nuclear-news.org/Articles/Westinghouse-signs-initial-contract-for-Ukrainian> [Dostęp: 18.12.2021].

15th Edition – Member Conference, 15th Edition, July 30, 2021. [Online] <https://www.uamps.com/file/0cac940c-85d-c-43e2-9d84-c35d97ae3b0f> The Carbon Free Power Project [Online] <https://www.nuscalepower.com/projects/carbon-free-power-project> [Dostęp: 18.12.2021].

Realia energetyki jądrowej w Polsce

Słowa kluczowe: energetyka jądrowa, modułarne reaktory jądrowe SMR

Streszczenie: Rządowy program wdrożenia energetyki jądrowej zakłada wykorzystanie wielkoskalowych reaktorów do budowy sześciu bloków energetycznych o łącznej mocy 6–9 GW. Pierwszy blok ma zostać uruchomiony w 2033 roku, a ostatni w 2043 roku. Tak nakreślony program jest trudny do zrealizowania, co widać w świetle braku sukcesów biznesowych podobnych programów w Europie i w USA w ostatnim ćwierćwieczu. Co więcej wiadomo, że kilkadziesiąt lat temu takie kraje jak: USA, Francja, Japonia, Kanada potrafiły z sukcesami budować po kilkadziesiąt reaktorów dużej mocy w kilkanaście lat. Dziś podobne sukcesy odnoszą Chiny i Rosja. Ten stan rzeczy ożywił programy wykorzystania reaktorów mniejszych oraz wdrożenia zaawansowanych technologii reaktorowych. Niedawna publikacja autora (Pieńkowski 2021) kreśli próbę zrozumienia zachodzących procesów, a obecna jest jej kontynuacją. W szczególności historia pokazuje, że uzyskanie zamówień na budowę dwudziestu i więcej reaktorów AP1000, EPR, lub APR1400 zapewne byłoby punktem zwrotnym dla polskiego programu. Kluczowe zagadnienia zostaną też omówione dla takich projektów jak BWRX-300 i NuScale oraz Natrium z reaktorem chłodzonym sodem.

The Realities of Nuclear Power in Poland

Keywords: nuclear power, small modular reactor SMR

Abstract: The government's nuclear power implementation program is based solely on large-scale reactors and the construction of six power units with a total capacity of 6–9 GW is planned. The first block is to start in 2033 and the last one in 2043. Already in the face of the lack of business successes in the last 25 years of similar programs in Europe and the USA, such a program is difficult to implement. Moreover, it is known that several dozen years ago such countries as USA, France, Japan and Canada were able to successfully build several dozen large-scale nuclear reactors in a dozen or so years. Today, only China and Russia have similar successes in nuclear energy. This state of the art has sparked renewed interest in programs to use smaller reactors and implement advanced reactor technologies. The author's recent publication (Pieńkowski 2021) outlines an attempt to understand these processes, and the current one is its continuation. In particular, history shows that winning orders to build 20 or more AP1000, EPR or APR1400 reactors would likely be a turning point for this project. Key points will also be discussed for projects such as the BWRX-300, NuScale, and the Natrium with a sodium-cooled reactor.